

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY  
KATEDRA KYBERNETIKY A BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

# Monitorování CO<sub>2</sub> v systémech vzdálené domácí péče

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Jiří Stružka  
Vedoucí práce: Ing. Martin Černý, Ph.D.

2014

TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA  
FACULTY OF ELECTROTECHNIC AND INFORMATICS  
DEPARTMENT OF CYBERNETICS AND BIOMEDICAL  
ENGINEERING

# CO<sub>2</sub> Monitoring in Home Care systems

BACHELOR THESIS

Author: Jiří Stružka  
Supervisor: Ing. Martin Černý, Ph.D.

2014

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Ostravě dne .....

.....

Jiří Stružka

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Martinu Černému, Ph.D. za vedení mé práce, odborné rady a jeho čas. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za oporu a zázemí.

## ABSTRAKT

Hlavním cílem této práce je vytvořit CO<sub>2</sub> senzor, který bude využit v systémech vzdálené domácí péče. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část bakalářské práce obsahuje seznámení s problematikou oxidu uhličitého a způsoby jak jej měřit. Popisuje návrh zařízení pro měření CO<sub>2</sub> a také návrh bezdrátového přenosu měřených dat do PC. Praktická část řeší realizaci zařízení pro měření tohoto plynu a vizualizaci přijatých dat.

*Klíčová slova:*

*Bluetooth, systémy vzdálené domácí péče, CO<sub>2</sub> senzory, oxid uhličitý*

## ABSTRACT

The main objective of this work is to create a CO<sub>2</sub> sensor that will be used in systems remote home care. It is divided into theoretical and practical parts. In the theoretical part of the thesis is familiar with the problem of carbon dioxide and ways to measure it. Describes the design of a device for measuring CO<sub>2</sub> and draft wireless transmission of measurement data to a PC. The practical part deals with the implementation of a device for measuring the gas and visualization of data received.

*Keywords:*

*Bluetooth, HomeCare systems, CO<sub>2</sub> sensors, carbon dioxide*

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BT	Bluetooth
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý.
ADC	Analog/Digitální převodník
NDIR	NonDispersive infrared.
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
PPM	Parts per milion
EMF	Electromotive force
DPS	Deska plošných spojů
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Profile
SM	Security Manager
ATT	Attribute Protocol
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
HCI	Host-Controller Interface
LL	Link Layer
PHY	Physical Layer

## Obsah

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA OXIDU UHLIČITÉHO.....</b>	<b>9</b>
1.1 Popis oxidu uhličitého.....	9
1.2 Koncentrace oxidu uhličitého .....	9
1.2.1 Symptomy vyšších koncentrací oxidu uhličitého .....	10
1.3 Snížování koncentrace oxidu uhličitého .....	10
1.3.1 Regenerace vzduchu .....	11
1.3.2 Vynucené větrání .....	11
<b>2 VZDÁLENÁ DOMÁCÍ PÉČE .....</b>	<b>12</b>
2.1 HomeCare .....	13
2.2 TeleCare .....	13
<b>3 MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO .....</b>	<b>14</b>
3.1 NDIR senzory plynů .....	14
3.2 Senzory plynů s tuhým elektrolytem.....	15
3.3 Elektroakustické senzory plynů .....	16
3.4 Výběr vhodného senzoru.....	17
<b>4 BLUETOOTH.....</b>	<b>19</b>
4.1 Topologie sítě.....	19
4.2 Specifikace .....	20
4.3 Bluetooth 4 .....	21
4.4 Výběr Bluetooth modulu.....	22
<b>5 ZAPOJENÍ MĚŘÍČÍHO ŘETĚZCE .....</b>	<b>23</b>
5.1 Zapojení CO <sub>2</sub> senzoru .....	23
5.2 Zapojení PAN1720.....	24
<b>6 PROGRAM .....</b>	<b>26</b>
6.1 Hlavní okno vykreslovacího programu .....	26
6.2 Hlavní okno měřicího programu .....	27
6.2.1 Popis funkce měřicího programu .....	28
6.3 Kalibrace čidla .....	28
<b>7 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE .....</b>	<b>30</b>
7.1 Nastavení základních parametrů a párování.....	31
7.2 Čtení naměřených dat.....	31

<b>8</b>	<b>NAMĚŘENÁ DATA.....</b>	<b>32</b>
8.1	Statické umístění čidla .....	32
8.2	Dynamické umístění čidla.....	33
8.3	Výdrž baterie .....	33
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>34</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>35</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>37</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>39</b>



## ÚVOD

Vzdálená domácí péče je velmi významný projekt v rekonvalescenci pacientů a osamělých osob. Člověk je v domácím prostředí zvyklý na své pohodlí, které přispívá k psychické pohodě a procesu uzdravení. K pohodlí také, ač se to nezdá, patří čerstvý vzduch. Pokud stoupne koncentrace oxidu uhličitého v místnosti, zásadním způsobem to na sobě nepoznáme. Pokud ovšem do takovéto místnosti přijdeme, například z venkovních prostor, ihned pocítíme, že je uvnitř vzduch vydýchaný. Stačí pouze otevřít okno a vyvětrat. K tomu abychom poznali, že je vzduch špatný, potřebujeme citlivý přístroj, který nás upozorní, kdy okno otevřít. Právě tímto přístrojem se v této práci zabývám.

Práce má dvě části teoretickou a praktickou.

V teoretické části se zabývám oxidem uhličitým a způsoby jak ho měřit. Oxid uhličitý je ve vzduchu zastoupen vzhledem k ostatním plynům docela málo, ale jeho výskyt neustále roste a to díky znečištění vzduchu. V domácnostech jsou hlavními producenty oxidu uhličitého člověk a rostlinstvo. Na trhu existuje nespočet přístrojů, kterými se dá tento plyn měřit. Ovšem jsou to přístroje převážně statické nebo průmyslové. Jedním z hlavních požadavků je miniaturnost senzoru a také jeho přenosnost. Abych obě kritéria splnil, využívám nejnovější technologii Bluetooth. Bluetooth 4.0 se vyznačuje nízkou spotřebou energie a proto je velmi vhodný pro využití v HomeCare systémech.

V praktické části řeším návrh a realizaci senzoru CO<sub>2</sub> s přenosem naměřených dat pomocí Bluetooth. Jako první je třeba zajistit průzkum trhu, abych zjistil, které senzory odpovídají mým kritériím a které moduly podporují technologii Bluetooth 4.0. Po výběru součástek a návrhu desky jsem přešel k vytvoření ovládacího programu. Ovládací program je velmi jednoduchý a uživatelsky příjemný.

# 1 CHARAKTERISTIKA OXIDU UHLIČITÉHO

## 1.1 Popis oxidu uhličitého

Při dokonalém spalování uhlíku vzniká bezbarvý plyn bez zápachu, který je 1,5 krát těžší než vzduch, nehoří a působí dusivě. Chemicky se skládá z dvou atomů uhlíku a jednoho atomu kyslíku. Je to oxid uhličitý. Oxid uhličitý se vyskytuje ve třech skupenstvích:

- 1) Plynné (za normálních tlakových a teplotních podmínek)
- 2) Kapalné (existuje pouze za tlaku 5krát vyššího než je atmosférický tlak)
- 3) Pevné (při zchlazení na  $-78^{\circ}\text{C}$  vzniká bílá tuhá látka, tzv. suchý led) [1]

*Tabulka 1: Vlastnosti oxidu uhličitého[1]*

Vlastnosti oxidu uhličitého	
Molární hmotnost	44,0095 g/mol
Kritická teplota	31 $^{\circ}\text{C}$
Kritická hustota	0,468 g/cm <sup>3</sup>
Teplota varu	$-57^{\circ}\text{C}$ (pod zvýšeným tlakem)
Hustota	1,6 g/cm <sup>3</sup> (pevný), 1,98 kg/m <sup>3</sup> (plynný)
Kritický tlak	7 390 kPa
Teplota tání	$-78^{\circ}\text{C}$ (za normálního tlaku sublimuje)
Rozpustnost ve vodě	1,45 kg/m <sup>3</sup>

Koncentrace oxidu uhličitého jsou podstatně vyšší v interiéru. Zdroji oxidu uhličitého v domácnostech bývají především rostliny a lidé. A to z důvodu, že při „dýchání“ dochází k spalování sacharidů s kyslíkem a tím vznikne oxid uhličitý. U člověka je produkce oxidu uhličitého závislá na tělesné aktivitě. S rostoucí tělesnou aktivitou roste také koncentrace vydechovaného  $\text{CO}_2$ .

Jednotkou koncentrace oxidu uhličitého je ppm (parts per milion) nebo procenta. Jednotkou ppm se rozumí jedna částice dané substance pro 999 999 dalších částic, tedy jeden díl v milionu. Pro přepočítání ppm na procenta platí:  $1000\text{ppm} = 0,1\%$ . [1]

## 1.2 Koncentrace oxidu uhličitého

Už více než 100let se podle Pettenkoferova kritéria považuje za přípustnou koncentraci oxidu uhličitého hranice 1000ppm. Podle vyhlášky č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby nesmí být překročena koncentrace 1500ppm. Další hraniční koncentrace jsou uvedeny v tabulce 2. [1],[3]

Tabulka 2: Koncentrace oxidu uhličitého[1]

Koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	Vlastnosti
360-400	čerstvý vzduch
800-1000	doporučená koncentrace CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
větší než 1000	nastávají příznaky únavy a snižování soustředění
5000	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
35000-50000	vydechovaný vzduch dospělého člověka

### 1.2.1 Symptomy vyšších koncentrací oxidu uhličitého

Do 1000ppm je kvalita vzduchu v interiéru považována za vyhovující. Po překročení 1000ppm nastává u osob únava a nesoustředění. Pokud mluvíme o vydýchaném vzduchu, je to takový vzduch, který obsahuje více než 1500ppm oxidu uhličitého. Při koncentraci 2000ppm může u citlivějších osob dojít k bolestem hlavy. Maximální bezpečná koncentrace, která nezpůsobí člověku vážná zdravotní rizika je 5000ppm. Při koncentracích nad 5000ppm můžeme sledovat zrychlený tep, dechovou frekvenci, nouzi o dech, závratě a ospalost. U koncentrací nad 20 000ppm osoba upadne do kómatu a smrt z nedostatku kyslíku nastává do 8-10minut. [1],[3]

## 1.3 Snižování koncentrace oxidu uhličitého

V interiéru bývají koncentrace oxidu uhličitého nejvyšší ráno a to v místnostech určených ke spaní. V jiných místnostech je koncentrace závislá především na počtu osob. Pro udržení stálé koncentrace oxidu uhličitého v místnosti potřebujeme 27,9m<sup>3</sup>/h čerstvého vzduchu na osobu. Správné množství čerstvého vzduchu na osobu vypočteme ze vzorce (1). [2]

$$V = \frac{m}{\rho_{\max} - \rho} = \frac{19}{(1000 - 350) \cdot 10^{-3}} = 27,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (1)$$

Kde:

V- Objem čerstvého vzduchu [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]

m- produkce CO<sub>2</sub> dýcháním [ $19 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$ ]

$\rho_{\max}$ - maximální koncentrace v interiéru 1000ppm

$\rho$ - koncentrace CO<sub>2</sub> v čerstvém vzduchu 350ppm

### 1.3.1 Regenerace vzduchu

Regenerace vzduchu se používá nejčastěji na palubách jaderných ponorek a vesmírných stanicích. Smícháním hydroxidu sodného a vápenatého vznikne natronové vápno. Natronové vápno, je alkalický hydroxid, jež na sebe váže oxid uhličitý. Regenerace vzduchu se používá také v uzavřených dýchacích přístrojích tzv. rebreatherech. V nich se používá superhydrooxid draselný, který dokáže pohlcovat CO<sub>2</sub> a vodní páry a produkuje kyslík. Chemická reakce probíhající v přístroji:  $4\text{KO}_2 + 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{KHCO}_3 + 3\text{O}_2$ . V současné době se regenerace vzduchu v interiérech nepoužívá. [3]

### 1.3.2 Vynucené větrání

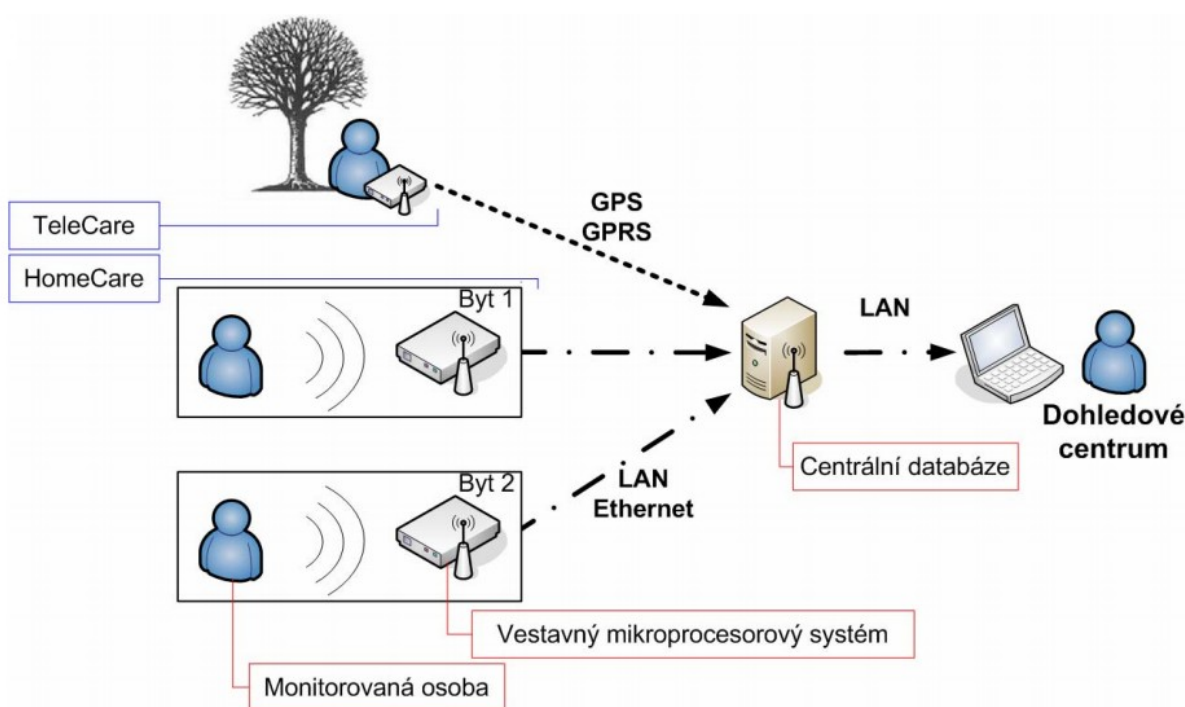
Vynucené větrání je pouhé otevření okna. Při otevření okna se „vydýchaný“ vzduch vymění za čerstvý z vnějšího prostředí. V zimních měsících při otevření okna uniká ven i teplo. Dalším ztížením je větrání v době inverze. Kdy s otevřeným oknem vpouštíme do vnitřních prostor i prachové částice. Abychom zabránili energetickým ztrátám, a nepouštěli dovnitř škodlivé částice, doporučuje se instalovat rekuperační jednotky. Jedná se o výměník tepla, který ohřívá čerstvý vzduch z exteriéru vydýchaným vzduchem z interiéru.[3]

## 2 VZDÁLENÁ DOMÁCÍ PÉČE

Pod pojmem domácí péče si můžeme představit nemocného pacienta, který je pod dohledem lékaře v domácím prostředí. Vyškolení pracovníci dojíždějí za pacienty domů a starají se o ně. Kdyby došlo ke krizové situaci, je pacient neustále monitorován.

Monitorování v domácím prostředí lze aplikovat u pacientů, kteří se potřebují krátkodobě zotavit po operačních úkonech, nebo u starších osamělých lidí. Pro vzdálenou domácí péči je potřeba speciálně vybavený dům resp. byt. Zařízení je vybaveno sledovacím systémem, který provádí monitoring životních funkcí pacienta. Vzdálenou péči můžeme rozdělit na dvě kategorie:

1. TeleCare- Sledovaná osoba se nachází někde ve vnějším prostředí. Pomocí GPS, GPRS, atd. je stále pod odborným dohledem
2. HomeCare- Sledovaná osoba se nachází v domácím prostředí



Obrázek 1: Schéma vzdálené péče [4]

## **2.1 HomeCare**

Pod pojmem HomeCare si můžeme představit inteligentní systém, který monitoruje životní funkce pacienta v domácím prostředí. Naměřená data jsou následně zpracována a vyhodnocena v dohledovém centru. Největšími výhodami vzdálené domácí péče je nepřetržitá péče i mimo nemocnici a hlavně menší psychická zátěž pacienta.

Navržený systém vzdálené domácí péče musí splňovat:

- Široké spektrum měřených biologických parametrů
- Mobilita systému
- Snadná aplikovatelnost a přenositelnost
- Diskrétnost použitých snímačů
- Minimální energetické nároky
- Minimální hmotnost [4]

## **2.2 TeleCare**

TeleCare je rozšíření systému vzdálené domácí péče pro monitorování osob i mimo byt s HomeCare systémem. Hlavní odlišností od HomeCare je menší počet senzorů a měřených veličin a také použití jiných komunikačních technologií. Dalším rozdílem je to, že nejprve jsou data zpracovávána v měřicích zařízeních a až na základě překonání kritické hodnoty je vyslán signál do dohledového centra. Pro kontaktování dohledového centra se využívá mobilních technologií.[4]

### 3 MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO

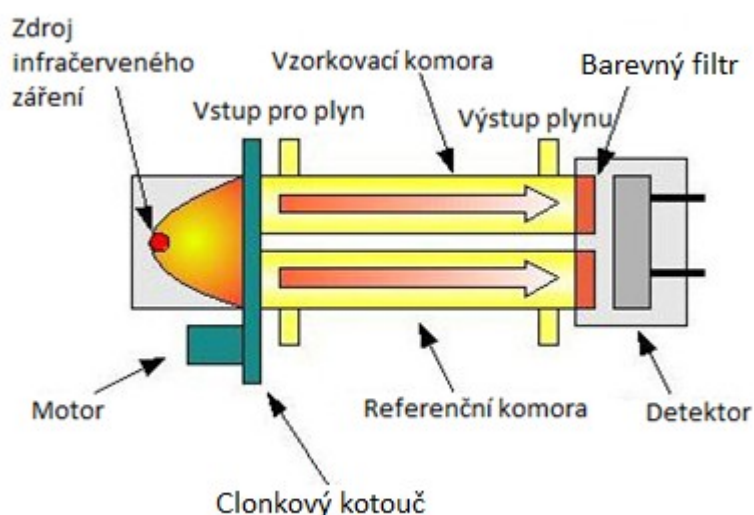
Pro měření koncentrace oxidu uhličitého využíváme celé řady přístrojů, ať už pevné nebo ruční.

Pevné přístroje pro měření se nejčastěji umisťují na zeď a propojují se s jednotkami pro řízené větrání. Ruční přístroje se užívají především pro zjištění úniků oxidu uhličitého.

Oxid uhličitý lze měřit různými principy. Nejvíce využívanější jsou čidla pracující na principu absorpce infračerveného záření neboli NDIR (Non-Dispersive Infrared), další pracují na elektroakustickém principu a elektrochemickém principu. Každá z těchto technologií má své výhody a nevýhody. [1]

#### 3.1 NDIR senzory plynů

NDIR technologie měření koncentrace plynů využívá fyzikálního jevu. Každý plyn absorbuje jinou vlnovou délku spektra infračerveného záření. Můžeme tedy říct, že NDIR čidla měří útlum infračerveného světla neboli absorbanci. Absorbance nepřímo souvisí s koncentrací sledované látky. Pro přesné zjištění koncentrace musíme použít vzorek plynu o známé koncentraci. Podle vzorce  $f = \frac{c_{známá}}{A_{známá}}$  získáme konstantu, kterou stačí vynásobit absorbancí neznámého plynu a získáme tak koncentraci neznámého plynu.



Obrázek 2: Schéma NDIR senzoru [5].

Zdroj záření vysílá paprsek infračerveného světla. Za lampou je clonkový kotouč, který se otáčí a přerušuje souvislý tok světelného paprsku. Kdyby nebyl clonkový kotouč přítomen, nedocházelo by k detekci změny koncentrace. Dalším celkem jsou dvě komory. Jedna referenční, v které je uzavřen známý plyn o známé koncentraci. Druhá komora je vzorkovací, kde se nachází neznámá směs plynu o neznámé koncentraci. Předposledním blokem je barevný filtr, který odfiltruje nežádoucí barevné spektra infračerveného záření. Použijeme vždy barevný filtr podle druhu plynu, který chceme detekovat. Pokud chceme detekovat oxid uhličitý, použijeme barevný filtr, který propouští paprsky o vlnové délce 4,2μm. Absorbance oxidu uhličitého je nejcitlivější právě u vlnové délky 4,2μm. [16],[5]

### 3.2 Senzory plynů s tuhým elektrolytem

Levnější variantou s nižší spotřebou jsou senzory s tuhým elektrolytem. Tyto senzory se skládají ze slabé plošky oxidu kovu (ZrO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, atd.) a vyhřívací cívky z RuO<sub>2</sub>. Oxid pro vrchní plošku se musí vybírat podle plynu, jehož koncentraci by měl senzor určovat. Pro měření oxidu uhličitého je nejvýhodnější použít Na (sodík). Pokud je plyn přiveden na plošku oxidu, je absorbován a při zapnutém vyhřívání proběhnou v tuhém elektrolytu následující chemické reakce:

*Tabulka X: Chemické reakce v tuhém elektrolytu*

Reakce na katodě:	$2Li^+ + CO_2 + \frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow Li_2CO_3$
Reakce na anodě:	$2Na^+ + \frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow Na_2O$
Celková reakce:	$2Na^+ + Li_2CO_3 \rightarrow Na_2O + 2Li^+$

Jako výsledek této elektrochemické reakce je generováno elektromotorické napětí (EMF) podle Nernstovy rovnice (2):

$$EMF = \frac{Ec - (R \cdot T)}{(2F) \ln(P(CO_2))} \quad (2)$$

Kde:

Ec- konstantní objem

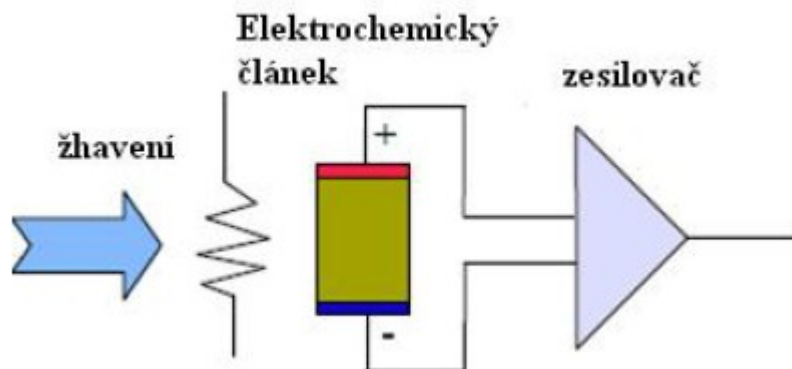
R- je konstantní plynový objem

T- termodynamická teplota



F-je Faradayova konstanta

P ( $\text{CO}_2$ ) je parciální tlak oxidu uhličitého. [7]

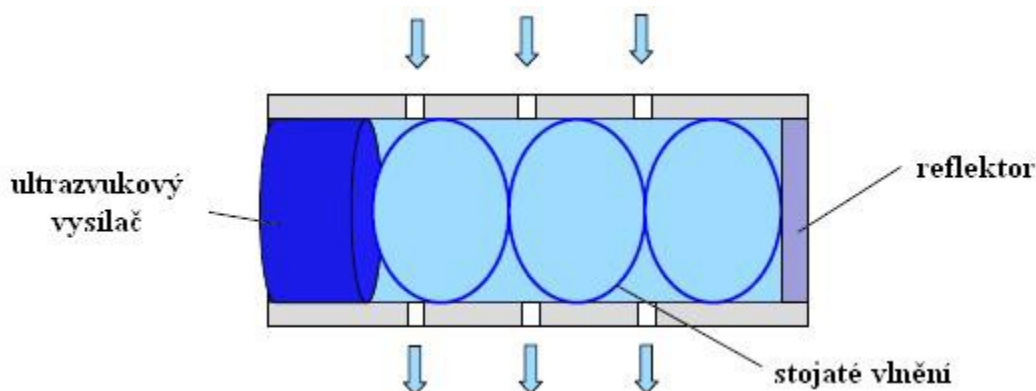


Obrázek 3: Schéma senzoru s tuhým elektrolytem. [2]

Pro kvalitní měření musíme u tohoto čidla nejprve provést kalibraci, a to plynem o přesně známé koncentraci, abychom měli referenční hodnotu s kterou můžeme porovnávat námi naměřené hodnoty EMF.

### 3.3 Elektroakustické senzory plynů

Elektroakustické senzory vyhodnocují změnu kmitočtu ultrazvuku v mechanickém rezonátoru. Změna kmitočtu je elektronicky vyhodnocena a porovnává se závislosti změny kmitočtu na koncentraci oxidu uhličitého ve vzduchu. Největší výhodou těchto čidel je jejich stabilita bez častých recalibrací. [1]



Obrázek 4: Princip elektroakustického čidla. [1]

### 3.4 Výběr vhodného senzoru

Při výběru senzoru pro tuto práci hrály nejdůležitější roli tyto faktory:

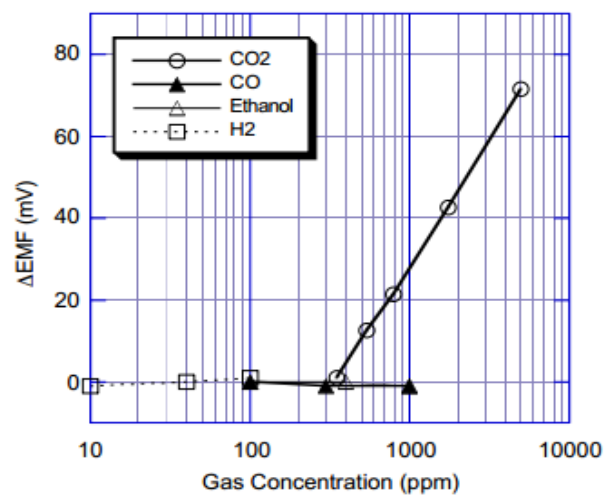
- Nízká spotřeba
- Snadná dostupnost
- Vysoká citlivost na CO<sub>2</sub>
- Měřicí rozsah

*Tabulka 3: Srovnání parametrů různých senzorů*

Typ senzoru	Rozsah [ppm]	I <sub>h</sub> a P <sub>h</sub> [mA,mW]	Princip měření
TGS4161	350-10 000	50, 250	Tuhý elektrolyt
TGS4160	350-50 000	250, 1250	Tuhý elektrolyt
MG811	350-10 000	200, 1200	Tuhý elektrolyt

Na trhu je celá řada různých čidel CO<sub>2</sub>. Pro svou práci jsem vybíral z těchto tří: MG811, TGS4160, TGS4161. Bohužel senzor TGS4160 nebyl k zakoupení. Z vybraných čidel měl TGS4160 největší měřicí rozsah viz. tab. 3. MG811 je navržen pro vyšší napájecí úroveň, jeho vyhřívací člen je na 6V a odebírá proud zhruba 200mA.

Vybral jsem elektrochemický senzor od společnosti Figaro TGS4161. Toto čidlo měří koncentraci od 350ppm- 10 000ppm, což nám pro naše účely vyhovuje. Také vyniká svou nízkou spotřebou, na kterou byl kladen velký důraz. TGS4161 má velkou výhodu v citlivosti na CO<sub>2</sub> oproti jiným plynům, viz. Obr. 5.



Obrázek 5: Citlivost TGS4161 oproti ostatním plynům [7]

## 4 BLUETOOTH

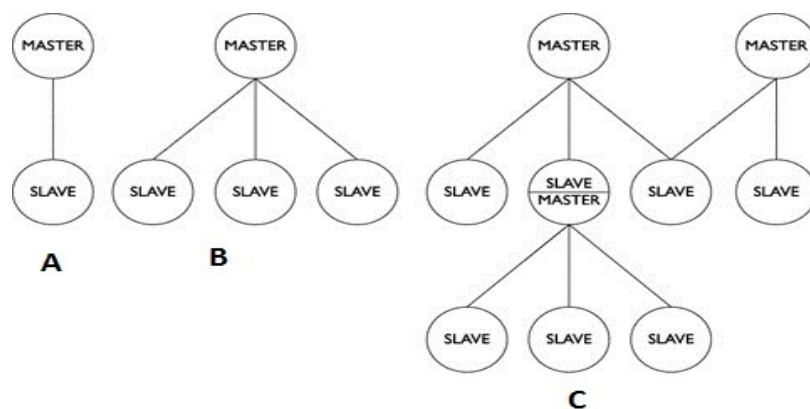
Technologie Bluetooth se stala standardem pro bezdrátový přenos na krátké vzdálenosti všude ve světě. Jejími hlavními klady jsou jednoduchost a stálost připojení mezi mnoha rozdílnými zařízeními. Díky těmto vlastnostem se tato technologie dostává do průmyslu a zdravotnictví. Dalšími klady je „miniaturnost“ tohoto zařízení, nízká nákupní cena, nízké nároky na napájení, dosah a nesložitě uživatelské rozhraní.

### 4.1 Topologie sítě

Zařízení Bluetooth může komunikovat buď mezi dvěma zařízeními jako typ *point-to-point*, nebo jedno zařízení s až sedmi dalšími jako typ *point-to-multipoint*.

Komunikace mezi dvěma a více zařízeními v jedné buňce se nazývá **piconet**. V jedné buňce může být pouze jedno řídicí zařízení (master) a až sedm podřízených jednotek (slave).

Pokud se buňky v síti překrývají, tak je nazýváme **scatternet** (rozprostřená síť). Tato komunikace je možná díky tomu, že jedno zařízení figurující v první buňce jako master, může v druhé buňce figurovat jako slave. Veškerou komunikaci řídí master pomocí protokolu výzvy. Podřízená jednotka komunikuje s ostatními pouze přes řídicí jednotku. [4]



Obrázek 6: Topologie Bluetooth sítě: A- piconet (point-to-point), B- piconet (point-to-multipoint), C- scatternet (více master jednotek). [4]

## 4.2 Specifikace

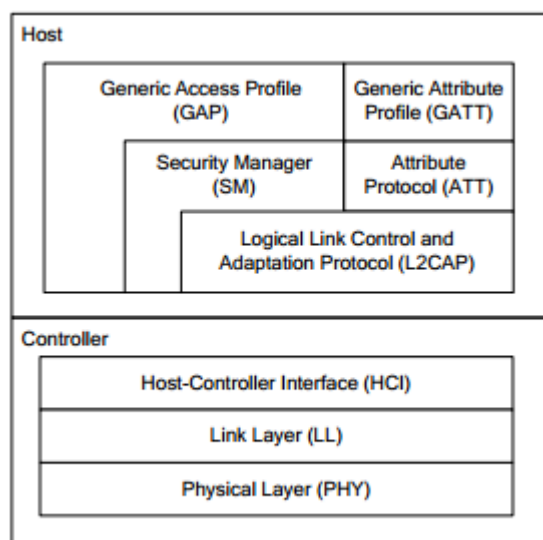
Technologie Bluetooth využívá pro svou komunikaci frekvenční pásmo ISM. ISM je bezlicenční (volně dostupné) ve většině států světa. Při užívání ISM pásma se musí dodržovat závazné podmínky pro vyzářený výkon a technické řešení vysílače/přijmače. Ve většině zemí světa je ISM pásmo široké 2400 až 2483,5MHz. Základní frekvence jsou dány vztahem:  $f_k = 2402 + k \text{ [MHz]}$ , kde  $k$  je celé číslo,  $k=0, 1, \dots, 78$ . To znamená, že je standardně 79 frekvenčních pozic s šířkou pásma 1MHz. V některých zemích je pouze 23 frekvenčních pozic.

Modulace Bluetooth signálu využívá GFSK ( Gaussian Frequency Shift Keying) modulace, kde je binární jednička reprezentována kladnou frekvenční výchylkou (frekvenční nárůst) a binární nula je reprezentována zápornou frekvenční výchylkou (frekvenční pokles).

Bluetooth užívá k přenosu krátké potvrzení a technologii pseudonáhodné sekvence rychlých změn vysílací frekvence (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum). To v praxi znamená, že je každý paket přenášen na jiné frekvenci. Navíc je každý kanál rozdělen do časových bloků širokých 625 $\mu$ s. Jeden paket zabírá jeden časový blok nebo maximálně pět časových bloků. [4]

## 4.3 Bluetooth 4

Specifikace BT 4 není náhradou za předchozí specifikaci BT 3. Architektura BT 4 se vrací k původní myšlence BT, a to aby měly co nejmenší odběr energie. To je zajištěno architekturou přenosových protokolů Obr. 7.



Obrázek 7: Architektura přenosových protokolů [9]

Tato architektura má rozdělené sekce: Host a Controller. Veškeré uživatelské aplikace jsou umístěny nad vrstvu GAP a GATT. Architektura začíná vrstvou fyzickou (PHY) tato vrstva se stará o modulaci signálu a přenos signálu. Vrstva spojovací (LL) nám zajišťuje stav BT zařízení. BT může být v několika režimech: pohotovostní, inzerující, skenování, zahájení nebo spojen. Poslední vrstva z kontrolního bloku zajišťuje komunikaci mezi hostem a kontrolérem standardizovaným rozhraním jako je UART, USB, atd.... L2CAP vrstva poskytuje zapouzdření dat služby pro horní vrstvy. Pro zabezpečení přenosu a spojení je tady vrstva bezpečnostní (SM). Protokol ATT umožňuje zařízení odhalovat kousky dat známé jako atributy. GATT vrstva je rámec služeb, které definují dílčí postupy pro používání ATT. GATT určuje strukturu profilů. Všechny datové komunikace, které se vyskytují mezi dvěma zařízeními jsou prováděna skrze GATT. Služba GAP přímo navazuje na aplikace a zpracovává zahájení bezpečnostních funkcí. [9]

## 4.4 Výběr Bluetooth modulu

Dle zadání bylo třeba vybrat Bluetooth modul, který pracuje s technologií Bluetooth 4. Tato technologie se vyznačuje nízkou spotřebou elektrické energie. Dalším plusem je nízká odezva a snadná aplikace do jakéhokoliv odvětví. Tyto moduly se vyrábí ve dvou provedeních:

- 1) Dual mode
- 2) Single mode

Dual mode je využívanější z důvodu zpětné kompatibility se staršími technologiemi. Naopak single mode není kompatibilní, ale pouze podporuje tzv. smart ready technologii.

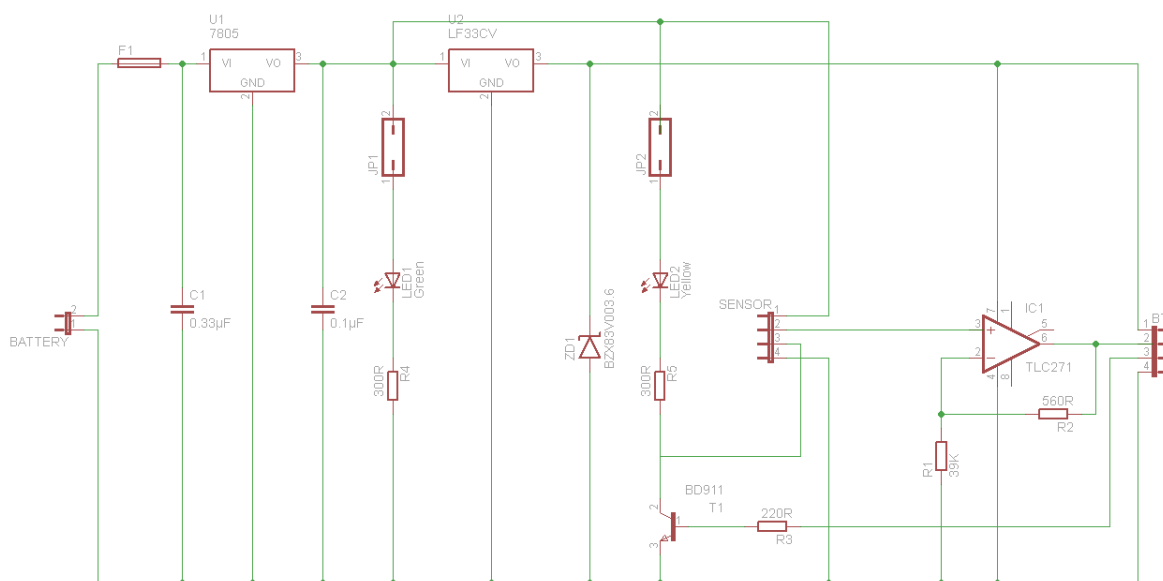
Pro tuto práci jsem vybral BT modul PAN1720 od firmy Panasonic. Tento modul splňuje veškeré podmínky kladené na použití ve HomeCare. Dokonce i sám výrobce doporučuje PAN1720 pro užití ve zdravotnictví. Moduly jsou k zakoupení ve dvou vyhotoveních. Pro usnadnění práce s moduly jsem si vybral vyhotovení PAN1720 s technologií BlueRadios, neboť podporuje AT příkazy, jež slouží k velmi snadnému nastavení modulu.

## 5 ZAPOJENÍ MĚŘÍCÍHO ŘETĚZCE

Obvod je napájen 9V baterií. Jako ochranný prvek je v obvodu zapojena pojistka J1, jež se přepálí, pokud se někde na desce vyskytne zkrat nebo se přehodí polarita u baterie. Pokud je připojená baterie, a pojistka není přepálená, rozsvítí se dioda LED1. Jelikož každá součástka má jiné napájecí napětí, jsou za baterií zapojeny dva stabilizátory. U1 je stabilizátor na 5V, toto napájecí napětí je pro žhavení CO<sub>2</sub> senzoru a OZ. Stabilizátor LM317 je zapojen tak, aby na výstupu bylo 3,6V. Samozřejmostí jsou blokovací kondenzátory C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>.

### 5.1 Zapojení CO<sub>2</sub> senzoru

Tranzistor T1 nám slouží jako spínač. Pokud je na bázi tranzistoru přivedeno napětí, tak se stane vodivým a z emitoru do báze začne protékat proud. Tím se začne zahřívat vyhřívací člen senzoru. Potřebná doba přehřívání, než je možno změřit ustálená data, je cca 1,5min. Pro signalizaci sepnutého přehřívání je ve větvi tranzistoru zapojena dioda LED2. Výstup senzoru TGS4161 je vyveden do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače. Ten je zapojen jako neinvertující zesilovač se zesílením 1. Tento operační zesilovač musí být zvolen tak, aby jeho vstupní impedance byla větší než  $10^{12}\Omega$ . Výrobce doporučuje použít TLC271, který splňuje tento požadavek [7].

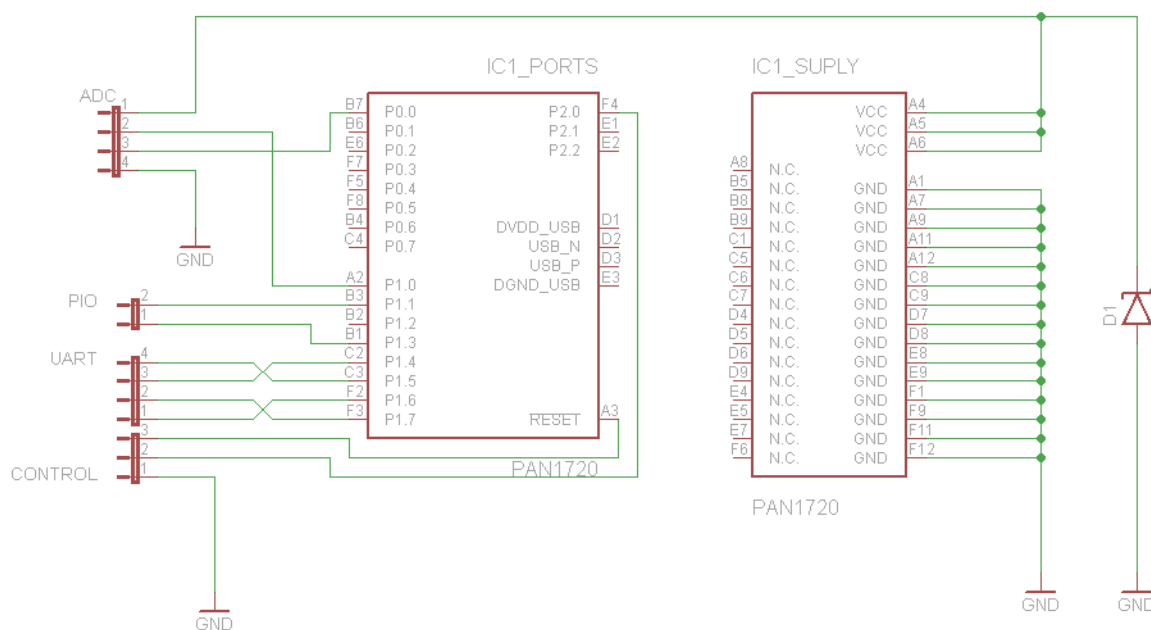


Obrázek 8: Schéma zapojení snímače TGS4161.



## 5.2 Zapojení PAN1720

Modul je zapojen dle obrázku 8. Na port P0.0 je přiveden výstup z operačního zesilovače. Port P0.0 je první kanál AD převodníku. Spínání žhavení senzoru je řešeno v programu tak, že je port P1.0 nastaven na výstupní port a jeho úroveň je nastavena na high. Pro potřeby přehrání firmware jsou vyvedeny porty P1.4-7. Na těchto pinech je vyveden USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter). [13]



Obrázek 9: Zapojení PAN1720 [13]

Piny ADC slouží pro připojení k snímací části. Rozložení těchto pinů je následující na ADC1 je připojeno napájecí napětí +3,6V. ADC2 slouží k spínání tranzistoru pro žhavení senzoru. ADC3 slouží pro připojení signálu z čidla na první kanál ADC převodníku BT modulu. Jak lze vidět ze schématu na pin ADC4 je připojena zem.

Piny PIO jsou náhradní vyvedené piny modulu. Pro potřebu přehrání firmware jsou vyvedeny piny UART. Zapojení UART je v tabulce 5. Pro budoucí potřebu jsem rovněž vyvedl ovládací piny RESET a P2.0. P2.0 se před počátkem přehrání firmware vlastním systémem musí po dobu restartu připojit na napájecí napětí. Jako ochranný prvek této části slouží Zenerova dioda D1. V případě přepólování Zenerovo napětí způsobí přepálení pojistky J1 snímací části.

*Tabulka 5: Zapojení UART pro PAN1720[13]*

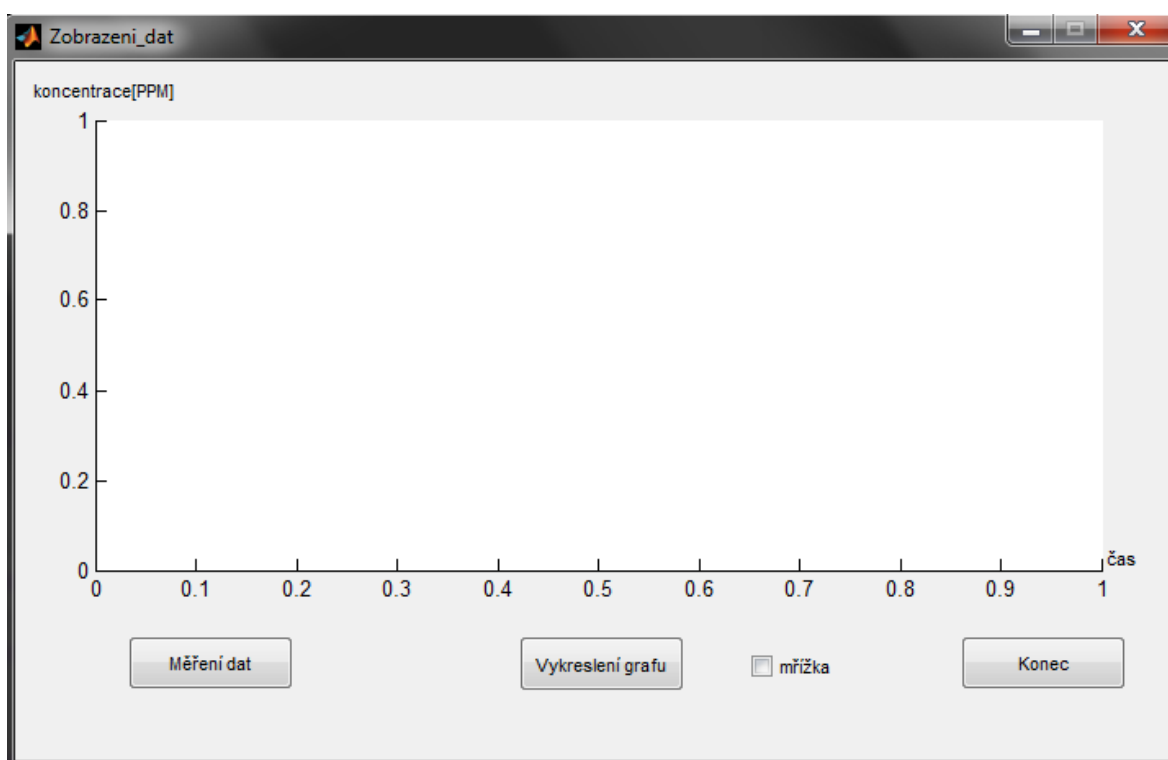
UART1	UART TX
UART2	UART RX
UART3	UART CTS
UART4	UART RTS

## 6 PROGRAM

Pro ovládání bezdrátové komunikace jsem vytvořil velmi jednoduchý program v programovém prostředí Visual Basic Studio, kdežto data jsou vykreslována programem MatLab, jemuž jsem naprogramoval tlačítko, kterým se bude spouštět bezdrátová komunikace.

### 6.1 Hlavní okno vykreslovacího programu

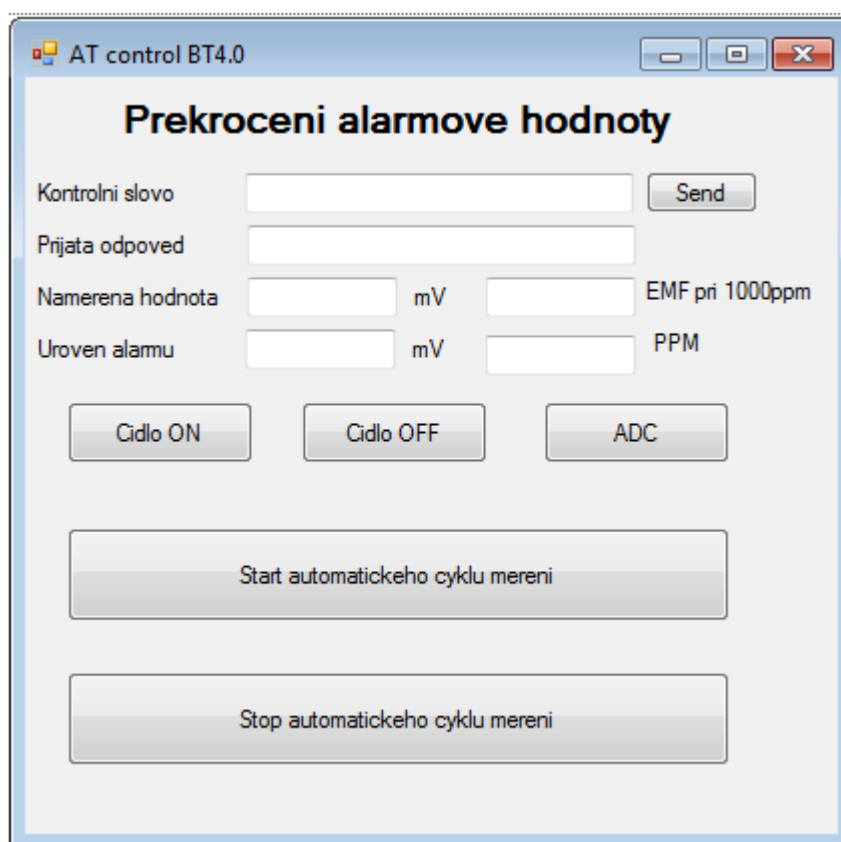
V hlavním okně vykreslovacího programu se nachází prostor pro graf na levé straně okna a ovládací tlačítka na straně pravé. Po stisku tlačítka Měření dat se spustí ovládací program pro BT moduly a jejich bezdrátovou komunikaci. Pokud chceme vykreslit data, zmáčkneme tlačítko vykreslení grafu. Pro zjištění, zda vykreslování grafu probíhá, je zobrazena hláška. Naměření dat probíhá cyklicky co 15min, překreslení grafu je jednou za 4minuty. Po stisku tlačítka konec je uživatel dotázán, zda chce opravdu program ukončit. Pod tlačítky je umístěno zaškrťovací okénko pro zobrazení mřížky.



Obrázek 10: Hlavní okno vykreslovacího programu

## 6.2 Hlavní okno měřicího programu

V hlavičce okna je umístěn nápis, který je viditelný, pouze pokud je překročena hodnota nastavené úrovně alarmu. Do kolonky kontrolní slovo je možno zapsat jakýkoliv AT příkaz a odeslat ho modulu tlačítkem send. Odpověď na tento příkaz je zobrazena v kolonce přijatá odpověď. Pokud je ADC převodníkem modulu naměřená hodnota, tak je zobrazena v další kolonce. Tlačítka Čidlo ON, Čidlo OFF a ADC slouží jako zkušební tlačítka. Pomocí nichž můžeme čidlo zapnout, změřit hodnotu a čidlo vypnout. Automatický běh programu lze spustit či zastavit posledními dvěma tlačítky.



Obrázek 11: hlavní okno měřicího programu

Do kolonky EMF při 1000ppm se запиše naměřená hodnota v mV při přivedené koncentraci 1000ppm na čidlo. Poté dojde k přepočtu naměřené hodnoty na PPM.

### 6.2.1 Popis funkce měřícího programu

Na začátku programu je otevřen sériový port. Tento sériový port je nastaven napevno. Jakákoliv změna tohoto portu musí být provedena ještě před vytvořením instalovatelné ikony. Po otevření sériového portu se vyhledá cesta k umístění složky, do které bude uložen .csv soubor pro zápis dat. Tato složka musí být vytvořena ještě před spuštěním programu. Odpovědi na AT příkazy se vrací ve formátu viz obr. 12. Pro odstranění doprovodných, nebo skrytých znaků slouží softwarový filtr, který tyto znaky odstraní a do kolonky přijatá odpověď vypíše reakci právě bez těchto znaků.

```
COMMAND:  ATSPIO,7,1,1<cr>  
RESPONSE: <cr_lf>  
          OK<cr_lf>
```

Obr. 12: Odpověď na AT příkaz nastavující piny

Pokud je odpověď modulu různá od OK a navracených znaků je méně než 5 je navracená hodnota zapsána do csv souboru společně s datem a časem kdy byla hodnota naměřena. Pokud byl překročen alarm do další kolonky je zapsán text Alarm.

Pro měření dat je nastaven cyklus, jež se opakuje co 997sec tj. 16,5min., po uplynutí času čítač1= 900sec (15min) je aktivováno žhavení vyhřívacího členu CO<sub>2</sub> čidla. Po čase čítač2= 95sec (1,5min) je zjištěna hodnota na vstupu ADC převodníku. Po dalších 2sec se vyhřívání vypne a spustí se znovu čítač1.

## 6.3 Kalibrace čidla

Z důvodu přepočtu mV na ppm musíme provést kalibraci, kterou provedeme tak, že na senzor přivedeme plyn o známé koncentraci. Oxid uhličitý má v čerstvém vzduchu koncentraci okolo 350ppm. Pro určení referenčních hodnot pro přepočet potřebujeme znát ještě jednu hodnotu EMF pro známou koncentraci. Naměřené hodnoty vložíme do kalibrační rovnice pro senzor TGS4161, která vychází ze závislosti  $\Delta\text{EMF}$  na CO<sub>2</sub>. Tato závislost je lineární, ale pro lepší přehlednost je osa x logaritmická. Závislost Kalibrační rovnice je logaritmického charakteru. Z této rovnice potřebujeme vyjádřit gradient m a neznámou b. [14]

$$\Delta \text{EMF} = \text{EMF}_{350} - \text{EMF}_{\text{měřené}} \quad (3)$$

Rovnice (3) je výpočet rozdílu EMF při 350ppm a EMF měřené koncentrace.

$$y = m \cdot \log x + b \quad (4)$$

Pro výpočet gradientu využijeme vzorec číslo (5).

$$m = (y_1 - y_2) / (\log x_1 - \log x_2) \quad (5)$$

Pro poslední kalibrační konstantu dosadíme místo m číslo z rovnice (5).

$$b = y - m \cdot \log x \quad (6)$$

Abychom získali výsledek v jednotce PPM musíme z rovnice (4) vyjádřit neznámou x.

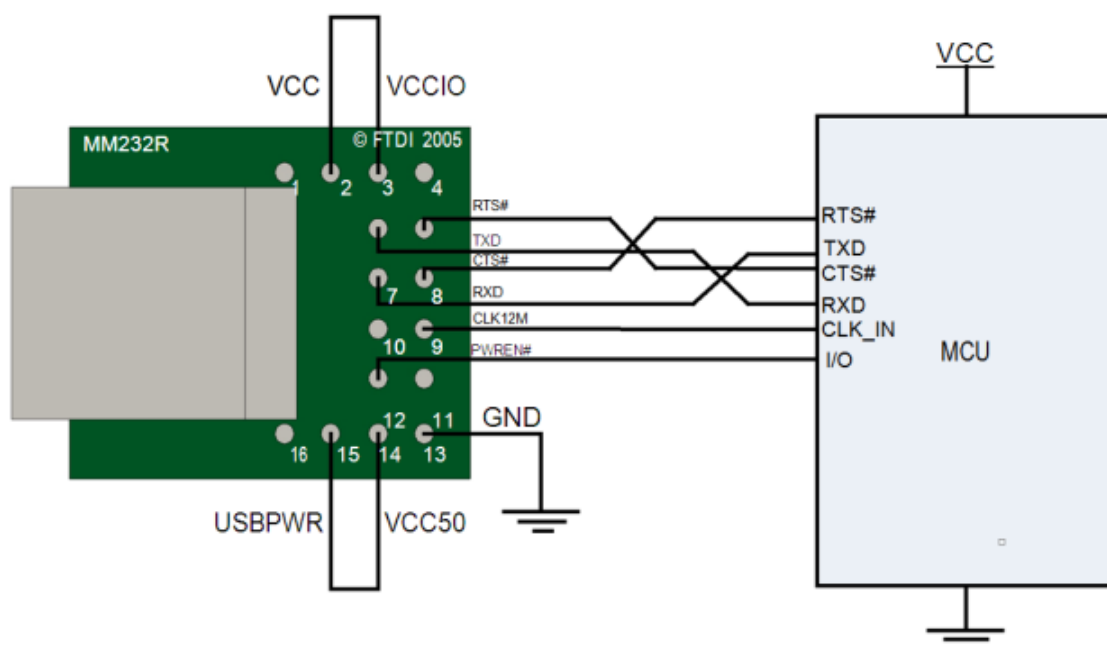
$$x = 10^{\left(\frac{y-b}{m}\right)} \quad (7)$$

V rovnici (7) je Y rovno naměřené hodnotě  $\Delta \text{EMF}(3)$ .

Kalibrace je měřená při koncentraci CO<sub>2</sub> čerstvého vzduchu a při koncentraci 1000ppm.

## 7 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE

Moduly PAN1720 lze nakonfigurovat přes UART pomocí AT příkazů. Nejprve je nutno modul připojit přes UART k USB. Využil jsem k tomu přípravek od firmy FTDI a to MM232R USB UART modul. K připojení modulu jsem použil vyvedené piny P1.4-P1.7 viz. obr. 8. Ty jsem propojil podle následujícího schématu. K napájení modulů je možno využít jak napájení senzoru, tak pinu 4 na desce MM232R, kde je výstupní napětí 3,6V.



Obrázek 13: Zapojení MM232R [12, obrázek 6.1]

## 7.1 Nastavení základních parametrů a spárování

Pro základní nastavení jsem využil AT příkazů dodávaných firmou BlueRadios. Jež jsou k dispozici pro registrované uživatele na internetovém fóru firmy BlueRadios. Nejprve je nutno rozdělit moduly na řídící a podřízenou jednotku viz. kapitola 4.1. Nejprve je potřeba pomocí příkazu *ATA?* Zjistit adresy obou BT zařízení.

U řídícího modulu jsem jako první nastavil příkazem *ATSWL* tzv. „whitelist“ seznam adres podřízených jednotek, ke kterým se master připojuje. Poté stačí zpříkazem *ATSDBLE,5,0,0* natavit chování jako řídící jednotku připojující se automaticky k podřízeným jednotkám, jejichž adresy jsou ve whitelistu.

Podřízená jednotka se připojuje k řídící pomocí příkazu: *ATDSLE, adresa řídící jednotky,2,0*. Než je možno ovládat spínání tranzistoru je nejprve potřeba příkazem *ATSLED,0,0,0* aktivovat možnost ovládání pinu P1.0. Pro ovládání spínání stačí příkaz *ATSPIO*, kterým nastavím pin P1.0 jako výstupní a jeho hodnotu nastavím na +3,6V. Posláním příkazu *ATSPIO,2,1,1* aktivujeme vyhřívání čidla. Pomocí *ATSPIO,2,1,0*

## 7.2 Čtení naměřených dat

V cyklu kdy vyprší čas v časovači2 je nastaveno odeslání příkazu *ATADC?,0*. Tento příkaz přečte hodnotu přivedenou na ADC modulu PAN1720. Tento ADC je 12Bit komparační analogově digitální převodník, který navrací hodnotu 0-1250mV.

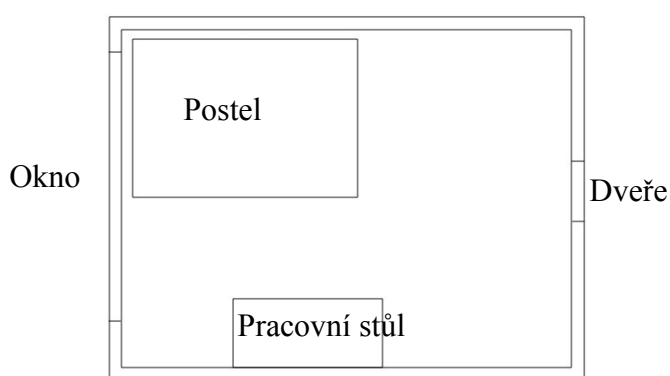


## 8 NAMĚŘENÁ DATA

V této části práce jsem zapojení testoval a měřil různá data. Měřená data jsou pouze v EMF, neboť nebyla provedena kalibrace.

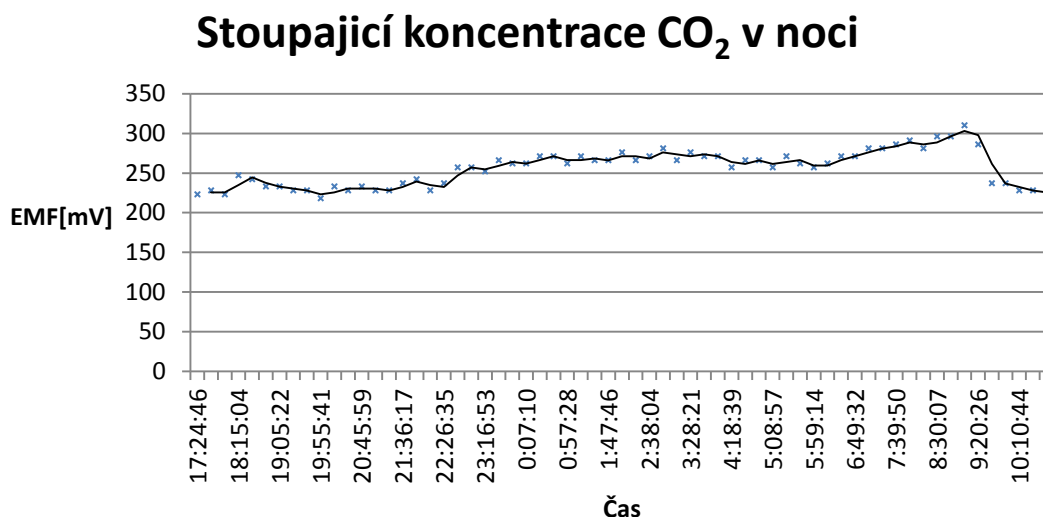
### 8.1 Statické umístění čidla

Jelikož je  $\text{CO}_2$  těžší než vzduch umístil jsem čidlo do výšky 74cm. Čidlo bylo umístěno na pracovním stole vedle postele viz. obrázek půdorysu.



Obrázek 14: Půdorys pokoje

V místnosti se po dobu měření nacházely dvě osoby a manský mývalí kocour. Jiné zdroje  $\text{CO}_2$  se v místnosti nenalézaly. Z grafu naměřených hodnot je vidět stoupající koncentrace v průběhu noci, kdy vrchol nastal cca v 9hod ráno. Poté bylo otevřeno okno a koncentrace klesla.



## **8.2 Dynamické umístění čidla**

U pohybujícího se čidla jsem neměřil žádná kontinuální data, ale pouze jsem testoval funkčnost a dosah měřeného signálu. Dosah měřeného signálu při přímé viditelnosti se pohybuje okolo 15m. V případě pohybu čidla po domě byl dosah do 10m. Aby BT signál pokryl dům o dvou patrech s podlahovou výměrou každého patra  $100\text{m}^2$  je potřeba použít maximálně 2 řídicí moduly.

## **8.3 Výdrž baterie**

Výdrž baterie je závislá na mnoha faktorech. Nejdůležitějším z nich je doba jak často aktivovat čidlo. V případě krátkého měřicího intervalu se zkracuje i životnost baterie. Čím je tento interval delší, tím baterie vydrží déle, ale díky dlouhému intervalu nebudeme po dlouhou dobu znát koncentraci. Proto jsem se rozhodl měřit koncentraci v časovém intervalu cca 15min. Při tomto nastavení jsem kontinuálně měřil data a baterie vydržela 4dny viz. graf v příloze 2.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou snímání koncentrace oxidu uhličitého v domácnostech a najít vhodný senzor pro jeho měření. Navrhnout a realizovat zařízení pro detekci tohoto plynu a detekovat jeho kritické stavy. Dále navrhnout a realizovat bezdrátový přenos kritických stavů s jejich vizualizací.

V teoretické části jsem se zajímal o možnostech snímání oxidu uhličitého a způsoby jak udržet jeho koncentraci v přípustných hodnotách.

V praktické části jsem navrhnul a vytvořil přístroj pro měření koncentrace oxidu uhličitého. Naměřená data jsem zpracoval do grafu v kapitole 8, kde je uvedeno i jejich zhodnocení. Tato data nejsou měřena kalibrovaným přístrojem. To že přístroj není kalibrovaný, nemá na výsledek naměřených dat vliv. Kalibrace slouží pouze k přepočtu naměřených EMF na ppm. Na konci práce v přílohách je obsažena fotodokumentace mnou navrženého systému a zdrojové kódy programů. Během vypracování praktické části jsem se naučil převést teorii do praxe.

Výsledek této práce pro praxi je z mého hlediska přínosný. Přístroj lze miniaturizovat a využít v systémech vzdálené domácí péče. V tomto provedení ho lze využít pro výukové účely, jako laboratorní úloha.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠUBRT, Roman a kolektiv. ENERGY CONSULTING SERVICE, s.r.o. *Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace* [online]. 2011 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: [www.e-c.cz/download1.php?id=131](http://www.e-c.cz/download1.php?id=131)
- [2] DOLEŽÍLKOVÁ, Hana. Tzbinfo. *Tzbinfo* [online]. 6.2.2006 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3042-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-ii>
- [3] MURTINGER, Karel. Nazeleno.cz. *Nazeleno* [online]. 2013 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/bydleni/vetrani-1/pozor-na-koncentraci-co2-v-domacnosti-spravne-vetrani-je-zaklad.aspx>
- [4] ČERNÝ, Martin a Marek PENHAKER. *Biotelemetrie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 155 s. ISBN 978-80-248-1605-0.
- [5] ESRL GLOBAL MONITORING DIVISION. *Greenhouse Gasses* [online]. 2005-10-01, 2009-07-24 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: [http://www.esrl.noaa.gov/gmd/infodata/faq\\_cat-3.html](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/infodata/faq_cat-3.html)
- [6] Vysoké Učení technické. *Přístroj pro monitorování prostředí při kultivaci rostlin* [online]. 2008 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_veřejne.php?file\\_id=7494](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=7494)
- [7] FIGARO. *Figaro CO2 sensors* [online]. 2012 [cit. 2012-11-29]. Dostupné z: <http://www.figaro.co.jp/en/pdf/TGS4161.pdf>
- [8] Vzdálené monitorování pacientů v domácí péči. In: ČERNÝ, Martin a Marek PENHAKER. *Zdravotně- sociální fakulta ostravské univerzity* [online]. 2006 [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://zsf.osu.cz/dokumenty/pachner2006/prednasky/1den/7.pdf>
- [9] GUPTA, Naresh C. *Inside Bluetooth Low Energy*. xxvi, 395 pages. Artech House mobile communications series. ISBN 16-080-7579-6.
- [10] HEYDON, Robin. *Bluetooth low energy: the developer's handbook*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012, 345 p. Artech House mobile communications series. ISBN 978-013-2888-363.
- [11] *Body sensor networks*. Editor Guang-Zhong Yang. London: Springer, 2006, xxviii, 493 s. ISBN 18-462-8272-1.

- [12]FTDI Chip. In: *MM232R USB - Serial UART Development Module Incorporating Clock Generator* [online]. UK, 2010 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS\\_MM232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_MM232R.pdf)
- [13]PANASONIC. *Specification for Production: Class 2 bluetooth low energy single mode module* [online]. Německo, 2013 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: [http://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/downloads/files/panasonic\\_pan172x\\_datasheet.pdf](http://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/downloads/files/panasonic_pan172x_datasheet.pdf)
- [14]Libelium Forum. [online]. 10.7.2010 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/forum/viewtopic.php?f=15&t=8659>
- [15]Oxid Uhličitý. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 22.4.2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD)
- [16]NIST STANDARD REFERENCE DATA. *Carbon Dioxide* [online]. 2011 [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C124389&Type=IR-SPEC&Index=1>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma vzdálené péče

Obrázek 2: Schéma NDIR senzoru

Obrázek 3: Schéma senzoru s tuhým elektrolytem.

Obrázek 4: Princip elektroakustického čidla.

Obrázek 5: Citlivost TGS4161 oproti ostatním plynům

Obrázek 6: Topologie Bluetooth sítě: A- piconet (point-to-point), B- piconet (point-to-multipoint), C- scatternet (více master jednotek).

Obrázek 7: Architektura přenosových protokolů

Obrázek 8: Schéma zapojení snímače TGS4161.

Obrázek 9: Zapojení PAN1720

Obrázek 10: Hlavní okno vykreslovacího programu

Obrázek 11: hlavní okno měřicího programu

Obrázek. 12: Odpověď na AT příkaz nastavující piny

Obrázek 13: Zapojení MM232R

Obrázek 14: Půdorys pokoje

## SEZNAM TABULEK

*Tabulka 1: Vlastnosti oxidu uhličitého*

*Tabulka 2: Koncentrace oxidu uhličitého*

*Tabulka 3: Chemické reakce v tuhém elektrolytu*

*Tabulka 4: Srovnání parametrů různých senzorů*

*Tabulka 5: Zapojení UART pro PANI720*

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: Program Visual Basic

Příloha 2: Výdrž baterie měřená po dobu 4dnů

Příloha 3: Program MatLab

Příloha 4: Neosazená DPS bluetooth modulu PAN1720

Příloha 5: Osazená deska snímací části

Příloha 6: Měřicí část připojená k řízené bluetooth jednotce

Příloha 7: Řídící jednotka připojena k FTDI přípravku

Příloha 8: DPS měřicí část (pohled shora)

Příloha 9: DPS měřicí část (pohled zdola)

Příloha 10: DPS bluetooth modulu PAN1720

Příloha 11: DPS LM317

Příloha 12: Seznam použitých součástek